

トランジスタとライトレースカー

作成 大阪府立大学 太田正哉

改変 奈良教育大学 藪 哲郎

最終修正日時 2019.7.14

1 目的

ライトレースカーを製作することにより、回路図の読み方、各種回路素子の知識、電子工作の技術を習得します。

2 解説

2.1 トランジスタ

トランジスタは**電流を増幅**する素子です。飽和領域で用いると、電流をオン・オフする**スイッチング素子**として利用できます。本実験ではトランジスタをスイッチング素子として利用します。

トランジスタは導体と絶縁体の中間の性質を持つ半導体にリンなどの 5 価元素を不純物として加えた **n 型半導体**と、3 価元素のホウ素などを加えた **p 型半導体**を組み合わせる構成されます。バイポーラ型トランジスタは npn 型と pnp 型の 2 種類があり、それぞれ**コレクタ(C)**、**ベース(B)**、**エミッタ(E)**の 3 つの端子を持っています。図 1 にバイポーラ型トランジスタの構造と記号を示します。npn 型トランジスタの方が周波数特性が良いのと、回路の設計がしやすいのでよく使われます。図 2 に npn 型トランジスタの定番品である 2SC1815 の外観を示します。2SC1815 は 2010 年頃に廃盤になりましたが、2019 年現在、まだ入手可能です。互換品である KSC1815 があります。

2.2 トランジスタの基本特性

図 3(a) のように電圧と電流を定義します。ベースからエミッタに向けて流れる電流 I_B を**ベース電流**、コレクタからエミッタへ流れる電流 I_C を**コレクタ電**

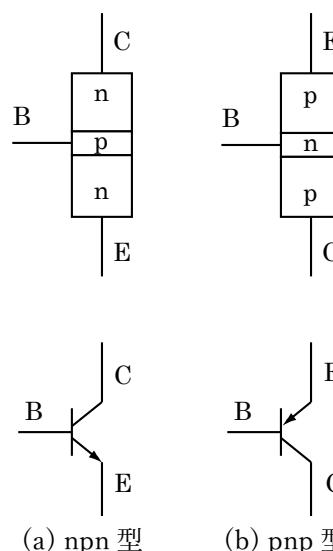


図 1 バイポーラ型トランジスタの構造と記号

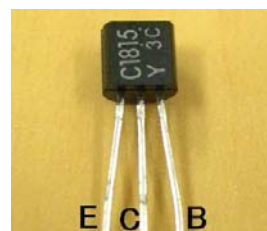
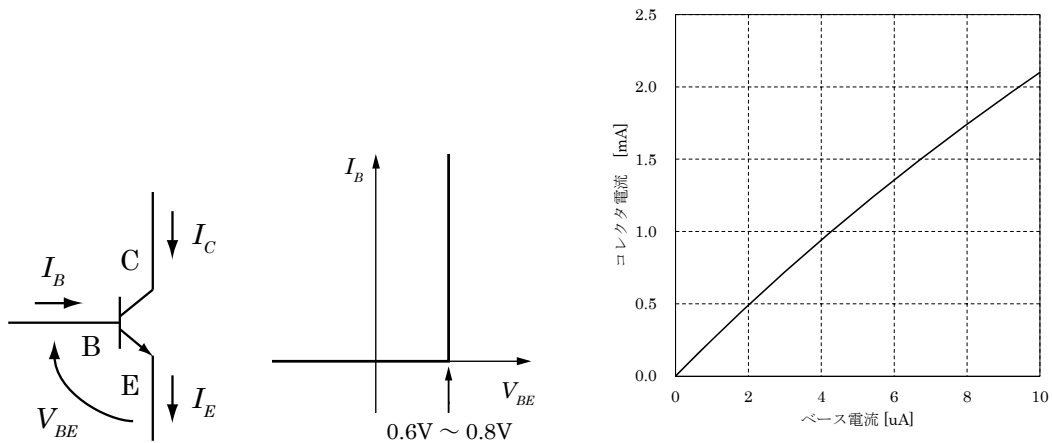


図 2 2SC1815 の外観
平らな面を手前にして左から E, C, B と並ぶ。「エクボ」と覚える



(a) 電圧電流の定義 (b)ベース・エミッタ間の特性 (c)ベース電流とコレクタ電流の関係
 図3 トランジスタの特性

流と呼びます。キルヒホッフの法則により

$$I_E = I_B + I_C$$

が成立します。そして以下の関係があります。

$$I_C = \beta I_B$$

β はトランジスタの増幅率で 100~400 くらいの値をとります。トランジスタは**電流を増幅する素子**です。

npn 型トランジスタはベース端子が p 型半導体、エミッタ端子が n 型半導体であるため、ベース → エミッタ間の特性はダイオードと同じです。ベースからエミッタに向かって電流を流すように電圧をかけると電流が流れます。トランジスタをスイッチとして用いるとき、ベース電流は「沢山流す」か「全く流さない」の二者択一なので、図 3(b) のように近似することができます。

ベース電流 I_B とコレクタ電流 I_C は図 3(c) のようにほぼ直線になります。ここでは 2SC1815 の特性を例として示します。

【問題】

図4の回路について次の問いに答えなさい。ただし、トランジスタの特性は図 3(b) で表され、 $V_{BE} < 0.7 \text{ V}$ のとき $I_B = 0$ であり、 V_{BE} が 0.7 V 以上になろうとしたとき I_B はいくらでも大きくなることを仮定します。

(1) $E = 7 \text{ V}$ 、 $R_2 = 1 \text{ k}\Omega$ とします。 $I_B = 0$ となる R_1 の範囲はいくらですか。分圧の式を利用

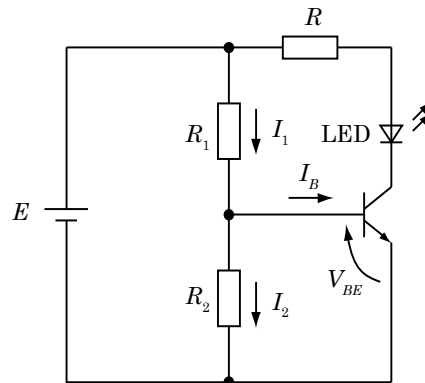


図4 LED 点灯回路

して求めなさい。

(2) $R_1 = 1 \text{ k}\Omega$, $R_2 = 1 \text{ k}\Omega$ のとき、 I_B を求めなさい。

(3) R_1 が $1 \text{ k}\Omega$ から $50 \text{ k}\Omega$ まで変化すると、 I_B の値はどのように変化するか。2つの場合に分けて、数式を書きなさい。

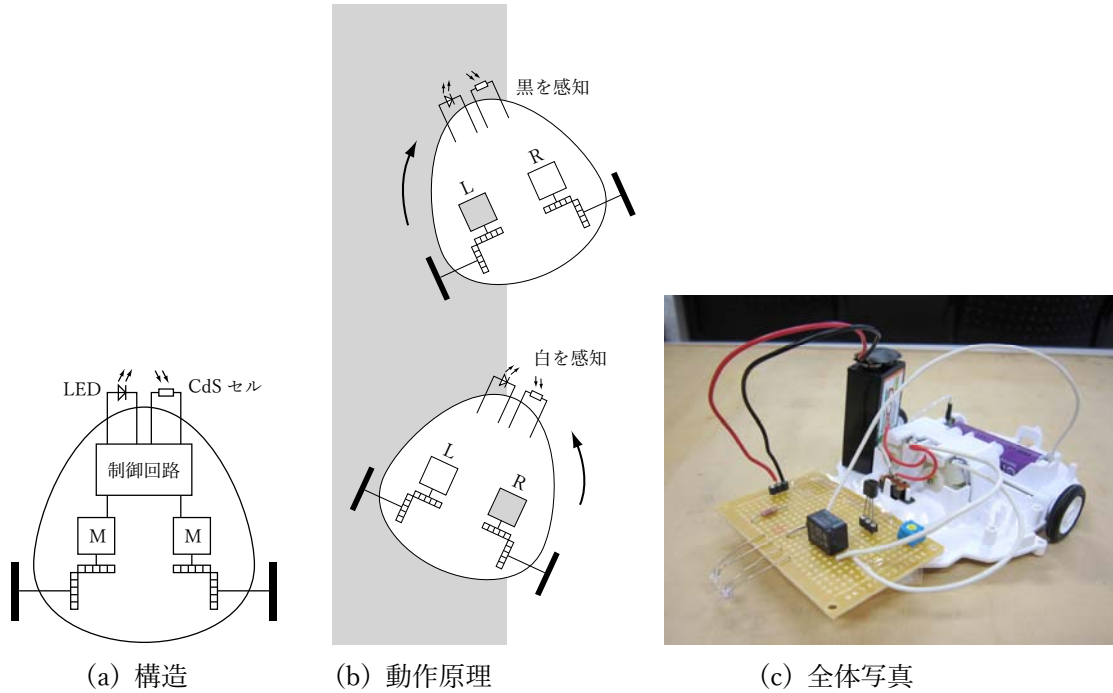


図5 ライントレースカーの構造と原理

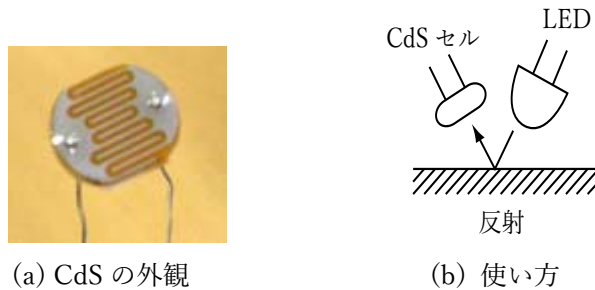


図6 CdSによるラインセンス

2.3 ライントレースカー

ライントレースカーは白地に描かれた黒線に沿って進む移動体です。今回製作するライントレースカーは、図5(a)に示すように2つのモータを持ちます。図5(b)に示すように、ラインを感知するセンサが白地を感知したときは右モータが回転し、ラインの黒地を感知したときは左モータが回転するように設計されています。この繰り返しにより車はラインの境界に沿って蛇行しながら進みます。全体写真を図5(c)に示します。

センサには **CdS セル** を用います。CdS セルは受光素子の一種で、光が当たると抵抗値が下がります。図 6(a)に CdS セルの外観を示します。同図(b)のように白色 LED で地面を照らし、その反射光を CdS セルで受光します。白地は反射光が多く、黒地は反射光が少ないので、その差を利用します。

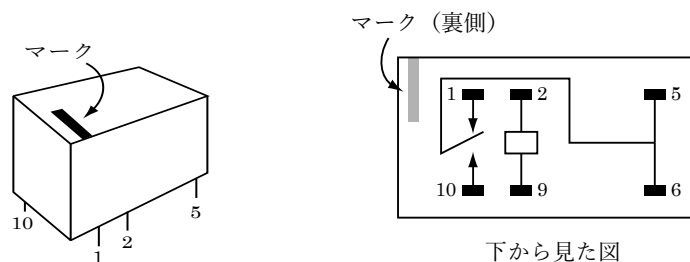


図7 リレーのピン配置

モータの切替には **リレー** を用います。リレーは内部のリレーコイルに電流を流すことでコイル内の鉄心を電磁石にしてスイッチを切り替える素子です。図 7 にリレーのピン配置を示します。

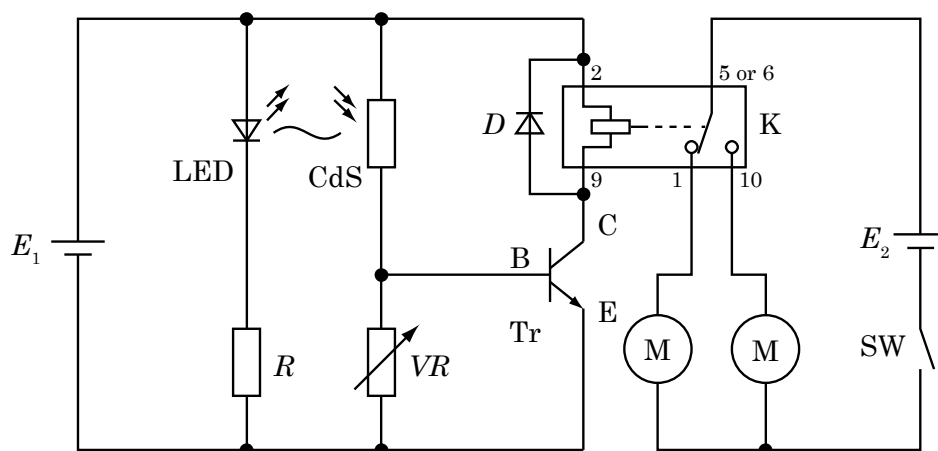


図8 ライトレースカーの回路図

図 8 がライトレースカーの回路図です。CdS セルが黒地を感知しているときは CdS の抵抗値が高くなり、トランジスタのベースには電流が流れず、コレクタ電流が流れません。リレーは動作せず 1 番端子に接続されたモータが回転します。CdS セルが白地を感知すると、CdS の抵抗値が下がりベース電流が流れ、コレクタ電流が流れます。リレーは動作し、10 番端子に接続されたモータが回転します。

ベース電流がほとんど流れずコレクタ電流がほとんど流れないとき、コレクターエミッタ間は遮断状態と言えます。この状態を **トランジスタが off 状態である** と言います。トラ

ンジスタが飽和し、コレクター-エミッタ間が導通状態のとき、**トランジスタが on 状態である**と言います。

リレーが off になるときにリレー両端に一瞬高電圧が発生します。このときの高電圧でトランジスタが破壊されないようにするため、環流ダイオード D を入れています。

3 実験および製作

3.1 CdS による LED 点灯制御回路

3.1.1 使用機器および部品等

- (1) 表 1 に示す部品
- (2) ブレッドボード
- (3) テスタ

表 1 CdSによるLED点灯制御回路の部品リスト

記号	品名	値・型名	数量
Tr	トランジスタ	2SC1815	1
CdS	CdSセル		1
VR	半固定抵抗	10 kΩ	1
R	抵抗	200 Ω	1
LED	発光ダイオード	白	1
E	電池	006P 9V	1
	電池用スナップ		1

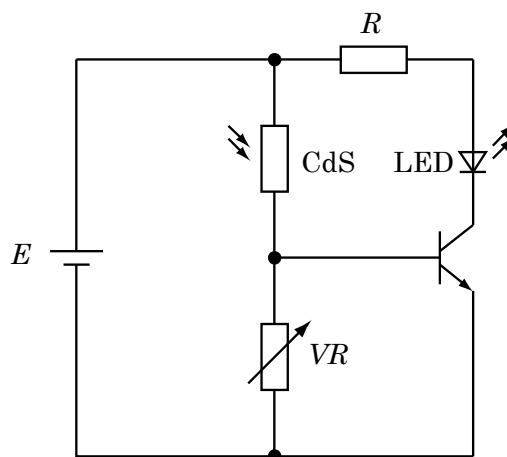


図 9 CdS による LED 点灯制御回路

3.1.2 実験方法

- (1) CdS セルの受光面に十分光をあてたときと、指などで十分閉じたときのセルの両端の

抵抗をテストで測定し、抵抗値の変化の範囲を確認しなさい。

CdS の抵抗値 (明) : _____ $k\Omega$

抵抗値 (暗) : _____ $k\Omega$

(2) 図9の回路をブレッドボード上に作成しなさい。CdSの受光面を指で開閉するのに合わせてLEDが点滅するように半固定抵抗を調整します。半固定抵抗は図10に示すように3個の端子を持っています。回すと2の位置が移動するので1-2あるいは2-3の間を使用します。1-3の間の抵抗値は一定値です。今回の実験で使用する半固定抵抗は103と書いてあります。これは $10 \times 10^3 \Omega$ すなわち、1-3の間は $10 k\Omega$ であることを表します。

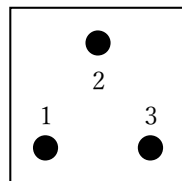
(3) LED点灯時の電池の電圧をテストで測定しなさい。次に、調整した半固定抵抗を回路から外し、その抵抗値を測定しなさい。

電池 E : _____ V

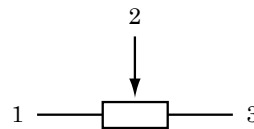
半固定抵抗 VR : _____ Ω

(4) (1)(3)の結果から CdS が明るい場合と暗い場合の I_B を計算で求めなさい。ただし、 V_{BE} は $0.8 V$ としなさい。また、ベース電流をテストで測定し、計算値と比較しなさい。

条件	計算値 [mA]	測定値 [mA]
明るいとき		
暗いとき		



(a) 下から見た図



(b) 端子の関係

図10 半固定抵抗

3.2 ライトレースカーの製作

3.2.1 使用機器および部品等

- (1) 表2に示す部品
- (2) 壁づたいメカ工作セット (タミヤ)

3.2.2 製作

(1) 図11がライトレースカーの回路図です(図8と同一です)。

この回路をユニバーサル基板の上に組みなさい。図12はレイアウト図を作成するために

利用しなさい。

(2) 作成したレイアウト図に従って部品を取り付け、配線します。

(3) 実際に動作させて半固定抵抗 VR を調整します。

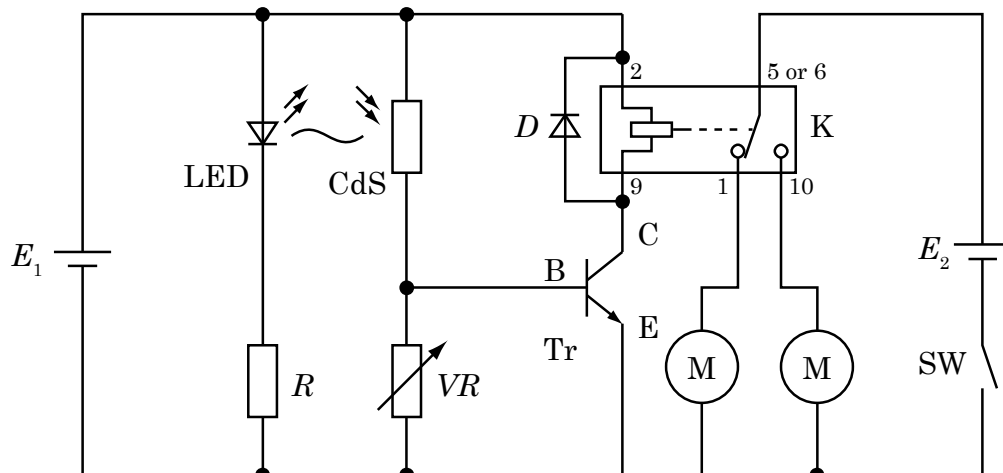


図 11 ライトレースカーの回路図

表 2 ライトレースカーの部品リスト

記号	品名	値・型名	数量
Tr	トランジスタ	2SC1815	1
CdS	CdSセル		1
K	リレー	G5V-1 5VDC	1
LED	発光ダイオード	白	1
D	ダイオード	1N4148	1
VR	半固定抵抗	10 kΩ	1
R	抵抗	200 Ω 1/4W	1
E ₁	電池	006P 9 V	1
E ₂	電池	1.5 V 単3	1
SW	スイッチ		1
	電池用スナップ		1
	ユニバーサル基板		1

注意事項

- トランジスタは1列ソケットに取り付けます。
- 9V電池を接続する端子は1列ソケットを用います。
- 9V電池の電源ケーブルはスイッチを途中に取り付け、先端はブレッドボード用の堅いケーブルを用います。

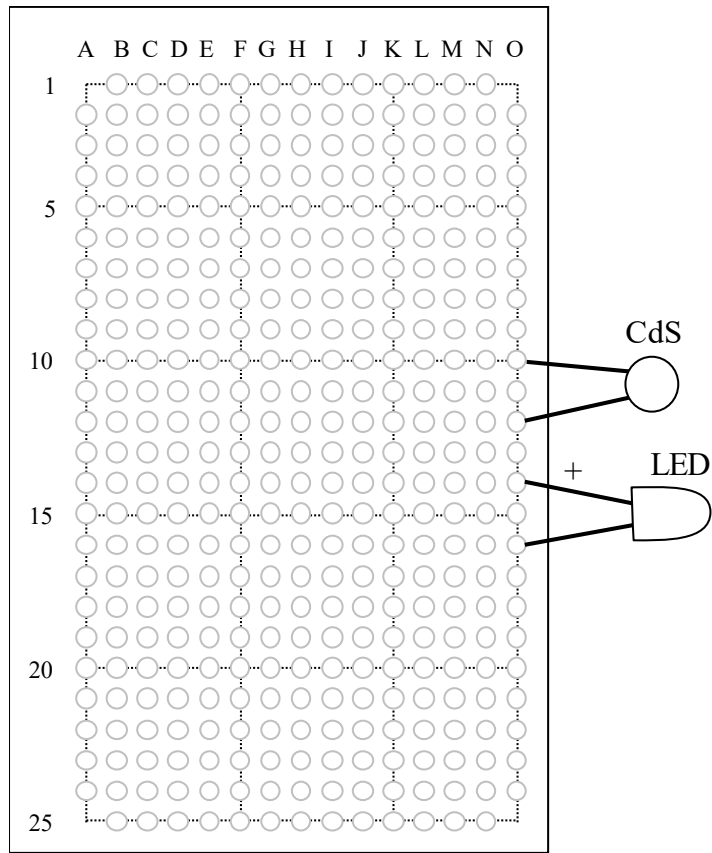


図 12 レイアウト図作成用

おわりに

本教材をご利用の際は大阪府立大学の太田 ota@eis.osakafu-u.ac.jp まで一言ご連絡下さい。